

⑫ 公開特許公報(A) 平1-218018

⑤Int.Cl.⁴ 識別記号 庁内整理番号 ⑬公開 平成1年(1989)8月31日
 H 01 L 21/285 3 0 1 R-7738-5F
 21/90 C-6824-5F
 29/78 3 0 1 P-8422-5F 審査請求 有 請求項の数 2 (全8頁)

⑭発明の名称 半導体材料を高融点金属に変換する方法及び前記方法を利用して製造される半導体装置

⑯特 願 昭63-289032

⑰出 願 昭63(1988)11月17日

優先権主張 ⑱1988年2月18日⑲米国(US)⑳157026

㉑発 明 者 ラジブ・ヴァサント・ アメリカ合衆国ニューヨーク州ヨークタウン・ハイツ、ウ
 ジョシ ッドブロック・レーン4-1番地

㉒出 願 人 インターナショナル・ アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州 アーモンク(番
 ビジネス・マシーン 地なし)
 ズ・コーポレーション

㉓代 理 人 弁理士 山本 仁朗 外1名

明 細 書

1. 発明の名称 半導体材料を高融点金属に変換する方法及び前記方法を利用して製造される半導体装置

2 特許請求の範囲

(1) 半導体材料を高融点金属に変換する方法であつて、

前記半導体と高融点金属の六フッ化合物との間の反応が自己制限されるとききの厚さよりも大きな厚さを有する半導体材料を用意し、

前記反応が自己制限されることのないような流量、圧力、及び温度の状態で前記半導体材料を前記高融点金属の六フッ化合物に接触させる、

半導体材料の高融点金属への変換方法。

(2) 第1導電型の半導体基板と、

前記半導体基板上に互いに離隔して形成された第2導電型のソース領域及びドレイン領域と、

前記ソース領域及びドレイン領域の間の前記半導体基板上に形成された酸化物絶縁層と、

絶縁物材料のサイドウォール・スペーサを有する、前記酸化物絶縁層上に形成された高融点金属ゲート層と、

前記ソース領域及びドレイン領域の夫々の上に形成され、夫々が絶縁物材料のサイドウォール・スペーサを有するソース用高融点金属層及びドレイン用高融点金属層と、

前記ソース用高融点金属層及びドレイン用高融点金属層上に形成されたオーミック接触と、を有する半導体装置。

3 発明の詳細な説明

A. 産業上の利用分野

本発明は半導体基板上への金属の蒸着方法に係り、更に詳しくは、シリコンを高融点金属に選択的に変換するCVD方法及び前記CVD方法を利用して製造されるMOS半導体装置に関する。

B. 背景技術

半導体装置の製造分野においては半導体チップ上の素子密度を大きくして装置の動作速度を向上させようとする努力が続けられている。チップ上に装置を高密度に形成しても装置に対する信頼性は高く維持されなければならない。MOS装置の製造分野においてはタングステンやモリブデンのような高融点金属の堆積に関して数々の研究が行なわれてきている。高融点金属は優れた拡散障壁性質を有し且つシリコンとの接触抵抗が低い。

現在、タングステンの選択的堆積は六フッ化タングステン・ガスのシリコン及び水素還元によつて実行されている。タングステンが次式に従つて六フッ化タングステンのシリコン還元によつて堆積されているであろうことは良く知られている。



しかしながら、シリコン還元は自己制限状態（反応がそれ以上は進まないこと。）になり易いと

る。例えば、本出願人による米国特許出願第044262号（1987年4月30日、米国出願）には、基板が WF_6 ガスにさらされてわずかのシリコンがタングステンに変換された後にプラズマ堆積によつてシリコン層が堆積され、再び WF_6 ガスにさらされ、これが繰り返されて所望の厚さのシリコンがタングステンに変換される方法が記載されている。米国特許第4595608号には基板が同期的にCVD装置から取出されてタングステンが堆積されるべきでない領域が蒸気によりさらされ、再びCVD装置に戻される方法が記載されており、この方法もシリコン還元の外に水素還元を用いている。

C. 開示の概要

本発明は高融点金属の六フッ化物のシリコン還元だけを利用して（水素還元は利用しない。）CVD環境（CVD装置）において高融点金属層を堆積する方法に関する。基板は所定の厚さを有する1つあるいは複数の領域を有している。本発明

考えられてきており、また、エンクローチ（侵食）という問題を有していることも知られている。タングステンを所望の厚さに堆積するために水素還元をシリコン還元の外に加えることがある。しかし、この水素還元方法も深刻なエンクローチ問題を有している。更に、タングステン堆積の選択性はウエハの予備堆積（プレデポジション）状態、堆積工程用容器の構造、真空度、基板の加熱方法、精巧なベーク及び排気工程サイクル等によつて非常に敏感に影響を受ける。再現性の低さ、炉内温度が400℃における成長速度の遅さ（10nm/minより遅い。）、及び堆積の選択性の悪さはこれらの方法における主たる欠点である。更に、水素還元工程で発生するHFは装置中の埋込み酸化物領域を侵食し、前記酸化物の縁部から六フッ化タングステンを基板へ侵入させてしまうことになる。また、露出されたシリコンの密度が選択性を決定するので工程の選択性が減少する。

タングステンの堆積方法に関する上述の問題点を解決するための数々の方法が既に提案されてい

者等は六フッ化金属ガスの流量及びCVDプロセス・パラメータの1つあるいは複数を調整することによりシリコン還元工程が自己制限的でなくなり、所望の厚さのシリコンを高融点金属に変換させることができるということを見出した。調整されるプロセス・パラメータは温度、全圧力、六フッ化ガスの部分圧力、及びキャリアガスの流量である。

本発明の方法は半導体装置及び層間金属接続の製造に利用でき、多層間接続用のビア・ホールの平坦化にも有用である。本発明の工程を利用する新規な半導体装置の構造においては、ソース、ドレイン、及びゲート・シリコンは1つのステップでタングステンに変換される。本発明のタングステン・ゲートはミッド・ギャップ状の仕事関数（MOS構造におけるエネルギー・バンド状態のこと。）及び低い抵抗を有し、サブ・ミクロンMOS装置にとつて特に有用である。

本発明を利用する製造方法によれば、シリコン基板はドレイン及びソース領域とシリコン・ゲー

トが特定されている表面を有し、前記シリコン・ゲートは頂部、底部及び側壁部に絶縁層材料を有し、前記ドレイン及びソース領域に隣接して配置されている。更に、埋込み分離領域が、シリコン・ゲートを挟んで離隔している前記ドレイン及びソース領域に隣接して配置されている。ゲート材料としてポリシリコンを用いることは良く知られているが、本発明では、ポリシリコンに限らず、単結晶シリコンやアモルファス・シリコンも用いられる。シリコンは選択的エピタキシャル成長のような適宜な方法によりソース及びドレイン領域上に選択的に堆積される。ゲートの頂部の絶縁層は後にR I Eあるいはウェット・エッチ工程により除去される。

その後、基板は化学的気相成長方法が行なわれる環境下で六フッ化高融点金属ガスの流れにさらされる。ガス流量およびC V Dプロセス・パラメータはシリコン・ゲート及びソース及びドレイン・シリコンが、所望の場合にはシリコン材料の厚さの全体まで、高融点金属に変換するように調整

還元工程で水素を使うことのないようにすることによつて、埋設酸化物領域がエッチングされるという問題が解決される。本発明の方法は標準的なC V D工程用装置を用いて容易に実行される。

D. 実施例

第1図は標準的CMO製造工程後のシリコン・ウェハを示している。ウェハはシリコン・基板12、ソース領域14、及びドレイン領域16を有している。シリコン基板12はP導電型、ソース及びドレイン領域14及び16はn+導電型として示されているが、P+型のソース及びドレイン、及びn型のシリコン基板であつてもよい。ウェハは埋設分離領域18及び20を有し、これらはシリコン酸化物あるいはシリコン窒化物から形成されてもよい。ゲート領域22はゲート酸化物層24及びシリコン・ゲート層26を有している。また、ゲート領域22はサイドウォール27及び28、及びトップウォール30を有し、これらはSiO₂あるいはSi₃N₄のような絶縁物質から

される。一実施例では、絶縁物質のサイドウォール・スペーサが、基板をC V D工程にさらす前に、ソース及びドレイン・シリコン層上に選択的に付着される。

ソース及びドレイン領域上のシリコンの厚さは、ミッドギャップ型仕事関数のゲートを形成したい場合には、シリコン・ゲートの厚さと実質的に同じ厚さでなければならない。ソース・ドレインとゲート・シリコンとの間の高さの相違はゲートと基板との間のゲート酸化物層にだけ起因する程度である。こうして、ソース・ドレイン・シリコン領域の厚さの全部が高融点金属に変換されるとき、シリコン・ゲートの全ても高融点金属に変換される。

代わりに、ソース及びドレイン・シリコンがシリコン・ゲートの厚さよりも小さな厚さに成長されてもよい。このような実施例では、ソース及びドレイン領域の全部が高融点金属に変換されるとき、シリコン・ゲートについてはその一部しか高融点金属に変換されない。

形成されている。基板12及びゲート層26に用いられるシリコンは、単結晶シリコン、ポリシリコン、あるいはアモルファス・シリコンのいずれであつてもよい。好ましい実施例では、基板12が単結晶シリコンであり、ゲート層26がポリシリコンである。典型的には、ゲート酸化物領域24は約125 nmの厚さである。ゲート・シリコン26は約400 nmの厚さであり、サイドウォール27、28は約150 nmの厚さであり、トップウォール30は典型的には約20 nmの厚さである。

第2図に示されるように、ソース及びドレイン領域14及び16の上にはソース・シリコン層32及びドレイン・シリコン層34が成長される。ソース及びドレイン・シリコン層32及び34は好ましくは選択的エピタキシャル成長で形成されるが、他の方法で形成されてもよい。シリコン層32及び34はいかなる所望の厚さにも形成され、臨界厚さに制限されない。ここで、臨界厚さとは、半導体材料と高融点金属の六フッ化物との間の反

応が自己制限されるときの厚さである。例えば、シリコンのタンへの交換は普通は20nmから30nm程度の範囲の厚さで停止する。

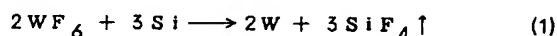
第3図に示されるように、 SiO_2 あるいは Si_3N_4 の如き絶縁材料のブランケット層36が基板全体を被うように堆積される。ブランケット層36は次に例えば反応性イオン・エッチングによつて選択的にエッチングされ、第4図に示されるように、ソース及びドレイン・シリコン層32及び34の両側にサイドウォール・スペーサ38が残される。絶縁性のトップウォール層30は次に、第5図に示されるように、RIEあるいは化学的ウェット・エッチによつて除去される。

次に、化学的気相成長法と同じ環境内で高融点金属の六フッ化物のガスにさらすことにより、シリコン領域26、32及び34が高融点金属に変換される。第6図に示されるように、シリコン領域26、32及び34はタングステンに完全に交換される。

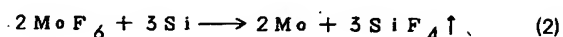
シリコン領域26、32及び34の全体の変換

コン部分40はタングステンに変換されない部分である。

基板上の選択されたシリコン領域を高融点金属に変換する方法は高融点金属の六フッ化物ガスのシリコン還元を利用する。次式に従つてシリコンが還元されてタングステンになるであろう事はよく知られている。



また、次式に従つてシリコンが還元されてモリブデンになるであろう事もよく知られている。



タングステンは、その障壁の性質及びシリコンに対する低い接触抵抗のために、コンタクト配線用に特に有用である。本発明では、ソース、ドレイン、及びゲートが単一の工程中にタングステンで配線化される。タングステン・ゲートは約4.8eVのミッドギャップ型仕事関数を示す。

本発明者等は六フッ化タングステン・ガスの流

が各領域の厚さが実質的に等しいときに完了するようにしてもよい。この結果得られる装置はソース・ドレインとゲートとの間の高さの相違がゲート酸化物層の厚さ分だけであり、ミッドギャップ型仕事関数を示すことが分つている。このミッドギャップ型仕事関数によつて、nあるいはpチャネル用のチャネル・イオン注入を行なわなくても、±0.6Vという所望のしきい値電圧が得られる。こうして、PMOSの劣つた埋込みチャネル動作を回避できると同時にMMOSの高い移動度及び相互コンダクタンスを得ることができる。

しかしながら、ゲート・シリコンの一部だけがタングステンに変換されてもよい。そのような実施例では、ソース及びドレイン領域上に堆積されたシリコンの厚さはゲート・シリコンよりも小さい。シリコンからタングステンへの変換工程はソース及びドレイン部分についてはそれらの全体が交換され、ゲート・シリコンについてはそれらに対応する厚さだけが交換される。このような実施例が第6図中の鎖線で示されており、図中、シリ

量及び温度、全圧、 WF_6 ガスの分圧及びキャリア・ガス流量の如き他のCVDプロセス・パラメータの1つあるいは複数を調整することによりタングステンのシリコン還元は自己制限にならないことを見出した。こうして、ゲート、ソース及びドレインのシリコン層の厚さの全部が単一工程でタングステンに変換され得ることになる。

第7図は全圧(mトル)とタングステンに変換されたシリコンの厚さ(nm)との関係を示している。この全圧対タングステンの厚さの関係を示すデータは WF_6 ガスの流量が15SCCMでキャリア・ガス流量が100SCCMの場合の例から得られた。CVD装置内の温度は370℃であり堆積時間は5分であつた。第7図は全圧が増すとタングステンの厚さを増すことを示している。好ましい全圧の範囲は約200mトルから約2,000mトルである。

第8図はキャリア・ガスの流量(SCCM)とタングステンの厚さ(nm)との相関関係を示している。この例では WF_6 の流量が15SCCM、

全圧が200mトル、堆積時間が5分、温度が370℃であつた。第8図はキャリア・ガスの流量が増すとタングステンの厚さが減ることを示している。したがって、キャリア・ガスの好ましい流量は約50SCCMから約100SCCMの範囲内である。

第9図は装置内温度(℃)とタングステンの厚さとの相関関係を示している。この例ではWF₆ガスの流量は15SCCM、キャリア・ガスの流量は100SCCM、全圧は200mトル、堆積時間は200mトルであつた。第9図は好ましい温度範囲は約300℃から約500℃の間である。

第10図は堆積時間(分)とタングステンの厚さとの関係を示している。この例では、WF₆ガスの流量は15SCCM、キャリア・ガスの流量は100SCCM、全圧は200mトル、温度は370℃であつた。第10図から、堆積時間が増すとタングステンの厚さも増すことが分かる。また、第10図は温度が500℃及び300℃より低い場合の関係も示しており、これらの温度の場

合にはタングステンの厚さは増えないことが分かる。

六フッ化タングステン・ガスの分圧は次式に従つて定まる。

$$P_{WF_6} = P_T \times \left[\frac{S_{WF_6}}{S_{WF_6} + S_{He}} \right] \quad (3)$$

式(3)から分かるように、分圧はCVD装置内の分圧及びヘリウムやアルゴンのようなキャリア・ガスの流量に関する。

式(3)に従つて計算すると、WF₆ガスの分圧の好ましい範囲は約20mトルから約80mトルであることが分かる。

このように、タングステンの厚さは六フッ化タングステン・ガス流量の全圧の関数であることが分かる。更に、タングステンの厚さはキャリア・ガス流量、温度、及び堆積時間の関数でもある。したがって、WF₆ガスの分圧を調整することによつてタングステンに変換されるシリコンの厚さ

を制御してソース・ドレイン・シリコン層及びゲート・シリコン層の一部あるいは全部がタングステンに変換されるようにできる。

タングステンへの変換後に、900℃より低温でフオーミング・ガスあるいは純粋な水素ガス中でアニールして浅い接合部のために層中のフッ素及び酸素を減らすことができる。この工程の後、通常の酸化物堆積及びAl-Cu-Si配線層の形成を行つてオーミック接触を形成する。深い接合部のために、アニールを1,000℃より高い温度で行うことができる。このような高温ではタングステン・シリサイドが非常にわずかしに形成されない。この理由として可能性のあるのは、酸素が層中に取り込まれることによつてシリサイドの形成が阻止されるというものである。エビーシリコンがSi(100)上に堆積されていると、シリコンの消費は可能な限り低くなり、接触抵抗が減少する。シート抵抗値の変動は約5%から約6%よりも低い。本発明の方法は再現性に優れている。成長速度は約100nm/分から約200nm/分で

あり、同じ温度での水素還元方法の場合よりも2桁程大きな速度である。得られる構造は10nmよりも小さいという独特の粒径を有している。

本発明の方法は多層金属配線用ビアの平坦化にも適している。シリコン酸化物中のビアは最初によりシリコンで充てんされ、次に本発明のシリコン還元方法にさらされる。ビアの全厚さが単一の工程で容易にタングステンに変換され得る。

本発明の方法はソース、ドレイン、及びゲートのポリシリコンを単一工程でタングステンに容易に変換させることができ、従来問題であつたエンクロージャブリッジを生じさせることがない。本発明の方法によつて得られるミッドギャップ型ゲートの半導体構造はサブミクロンMOS装置に適用できる。配線化された(金属化された)ソース・ドレインとゲートとの間の高さの相違は極めてわずかである。これにより、パッシベーション層の平坦化が簡単になる。また、タングステンの成長速度が大きく、再現性が高い。本発明の方法は100%選択的であり、熱的に安定で、接触抵

抗及びシート抵抗が低い。また、標準的なLPCVDのコールド・ウォール・リアクタを用いて、プロセス・パラメータを調整することにより、シリコンのいかなる所望の厚さについてもタングステンに変換させることができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図乃至第6図は夫々、本発明に係る半導体材料の高融点金属への変換方法の一実施例の互いに異なる工程を示す断面図、

第7図はCVD装置内全圧と変換されたタングステンの厚さとの相関関係を示すグラフ図、

第8図はキャリア・ガスの圧力と変換されたタングステンの厚さとの相関関係を示すグラフ図、

第9図はCVD装置内の温度と変換されたタングステンの厚さとの相関関係を示すグラフ図、

第10図は堆積時間と変換されたタングステンの厚さとの相関関係を示すグラフ図である。

12・・・基板、14・・・ソース、16・・・ドレイン、22・・・ゲート、24・・・ゲート酸化物、26・・・ゲート・シリコン(後にゲート・タング

ステン)、27、28・・・サイドウォール、30・・・トップウォール、32・・・ソース・シリコン(後にソース・タングステン)、34・・・ドレイン・シリコン(後にドレイン・タングステン)、38・・・サイドウォール・スペーサ。

出願人 インターナショナル・ビジネス・マシーンス・コーポレーション
代理人 弁理士 山本 仁 朗
(外1名)

FIG. 1

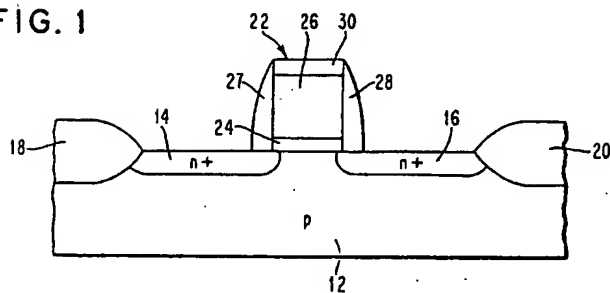


FIG. 2

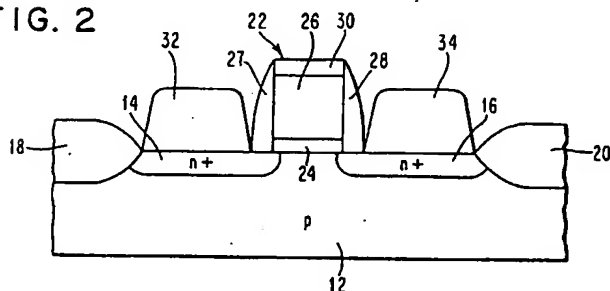


FIG. 3

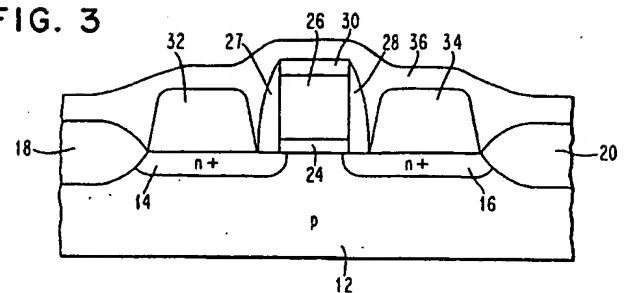


FIG. 4

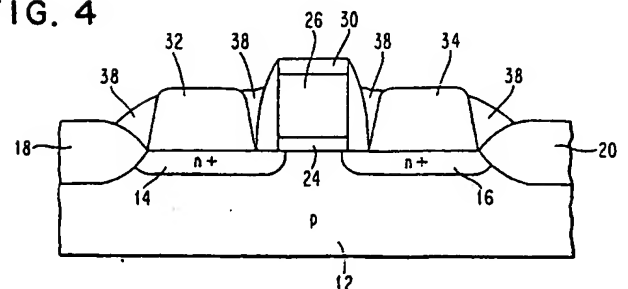


FIG. 7

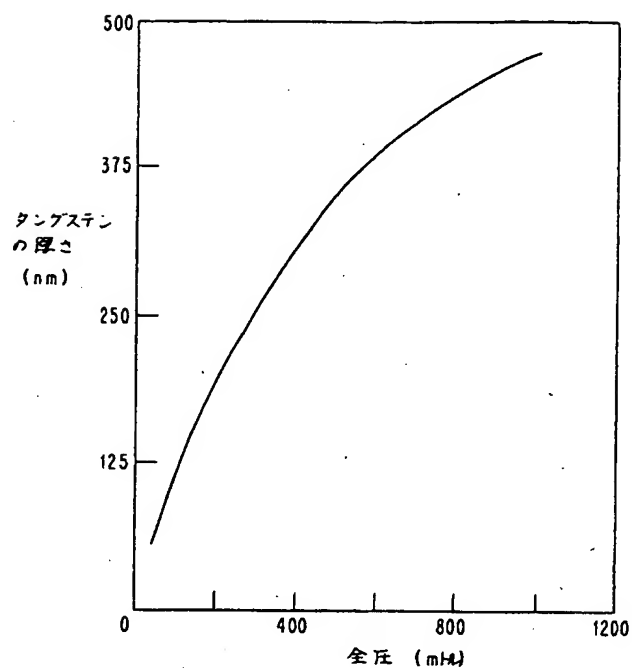


FIG. 9

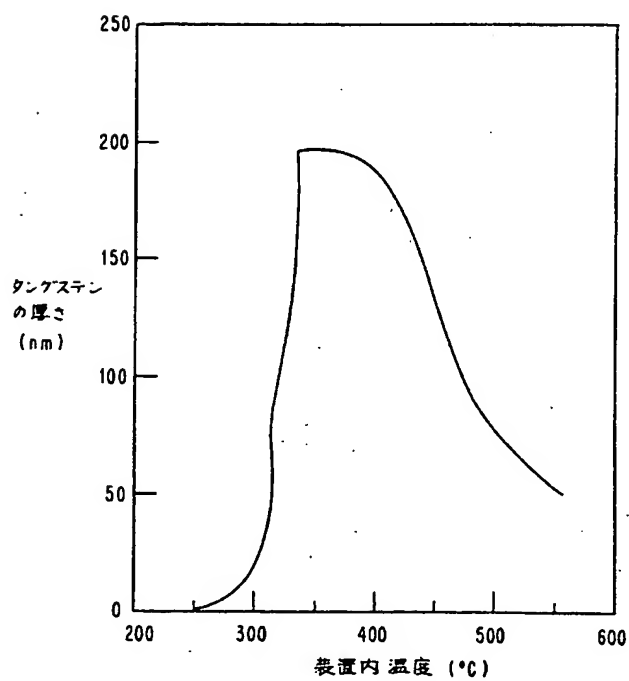


FIG. 8

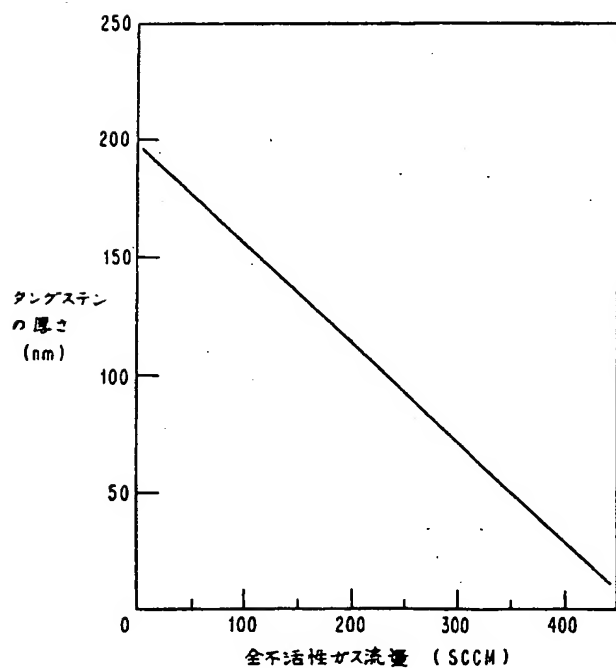


FIG. 10

